



## 月間降下物測定720 カ月が教えること(1): 降下 量の変遷はどうであったか?

著者	青山 道夫
雑誌名	科学
巻	89
号	5
ページ	452-459
発行年	2019-05-01
権利	『科学』89巻5号掲載
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2241/00156191">http://hdl.handle.net/2241/00156191</a>

# 月間降下物測定 720 カ月が教えること(1)

——降下量の変遷はどうであったか？

青山道夫

あおやま みちお  
筑波大学 アイソトープ環境動態研究センター 客員教授

本誌 2012 年 4 月号の論考「月間降下物測定 660 カ月が教えること」では、福島第一原発事故直後の暫定値であった茨城県つくば市での降下量も含めて、気象研究所が行ってきていた 1957 年 4 月から 2012 年 3 月までの長期にわたる月間降下物の推移を概説した。この 660 カ月の間には 1960 年代初頭の大規模核実験、1986 年のチェルノブイル事故、2011 年の東京電力福島第一原発事故などに起因する人工放射能が地球上に降下した記録が鮮明に見て取れていた。さらに測定は継続され、2011 年東京電力福島第一原発事故に由来する降下物の測定値も確定し公表されている。また事故後数年間のつくば市での月間降下量が緩やかにしか減少していない傾向も明らかになっている。本論では、その 1 として、再び降下物の長期の歴史と、 $^{137}\text{Cs}$  の降下量から推定される 1945 年から 2016 年までの高さ 1 m での空間線量率を振り返る。また、その 2(次号掲載予定)として核実験直後の降水に含まれる短寿命の核分裂生成物による降水中全ベータ放射能の増加の記録と空間線量率の増加の様相や、千葉県における月間外部被ばく線量の 1961 年 9 月から 1974 年 12 月までの測定記録を福島事故前後の空間線量率と比較することによって、日本人の外部被ばくの様相を概観する。

2012 年の論考の時点では暫定値であったつくば市での  $^{137}\text{Cs}$  と  $^{90}\text{Sr}$  の月間降下量も確定値が公表され、さらに 2016 年までの降下量が明らかになっている。したがって、気象研究所による、1950 年代後期から 60 年の長期にわたる長寿命の人工放射性核種の月間降下量( $^{90}\text{Sr}$  および  $^{137}\text{Cs}$ )の観測記録は 2017 年 3 月で 1957 年 4 月の開始以来

満 60 年、720 カ月となり、世界最長記録を更新しつつある。本論では気象研究所の観測記録を核実験や原子力施設事故との関連で改めて振り返るとともに、気象研究所の  $^{137}\text{Cs}$  の降下量から推定される 1945 年から 2016 年までの高さ 1 m での空間線量率とそれから推定される年間被ばく線量の推定値を紹介することで、日本における人工放射能の地表への降下の様相と人工放射能の降下による日本人への被ばくの様相を概観する。

## $^{137}\text{Cs}$ の年間降下量： 1945 年から 2016 年の様相

$^{137}\text{Cs}$  の降下量としては、気象研究所があった高円寺(東京都杉並区)で観測が行われた 1957 年 4 月から 1980 年 3 月まで、および 1980 年 4 月からはつくば市で観測が継続されている。 $^{137}\text{Cs}$  の年間降下量は観測がある期間については、月間降下量を積算して得られる。また、青山は観測が開始される 1957 年以前の降下量を土壌中の蓄積量あるいは核実験の核分裂量から推定し、1945 年から 1997 年までの年間降下量を推定している<sup>1)</sup>。さらに 1998 年以降の公表されたつくば市での月間降下量のデータを追加して年間降下量を算出し、最近出版された論文<sup>2)</sup>に掲載したものを表 1 として示す。年降下量計算に使用したデータの出典は、表 1 の注に示してある。合わせて、環境中の人工放射能のソースである大気圏核実験および原子力施設事故を概観するために、それぞれの年の核実験の回数と核爆発総量(生成され環境中に放出された核分裂生成物と核融合生成物の量に相当)について同じく最近出版された論文<sup>2)</sup>に掲載したものを表 2 として示す。両者を合わせて図として表示したものが

表 1— $^{137}\text{Cs}$  年間降下量および半減期を補正した積算降下量(単位:  $\text{Bq m}^{-2} \text{年}^{-1}$  および  $\text{Bq m}^{-2}$ )  
論文<sup>2</sup>から改変。

年	半減期を補正した積算降下量	年間降下量	文献番号
1945	5.78E+00	5.78E+00	1
1946	7.85E+00	2.20E+00	1
1947	7.67E+00	0.00E+00	1
1948	1.40E+01	6.53E+00	1
1949	1.47E+01	1.01E+00	1
1950	3.30E+01	1.86E+01	1
1951	5.92E+01	2.70E+01	1
1952	1.38E+02	8.06E+01	1
1953	1.68E+02	3.24E+01	1
1954	2.41E+02	7.73E+01	1
1955	4.06E+02	1.70E+02	1
1956	5.71E+02	1.74E+02	1
1957	9.85E+02	4.27E+02	1
1958	1.38E+03	4.22E+02	1
1959	2.22E+03	8.72E+02	1
1960	2.40E+03	2.29E+02	1
1961	2.62E+03	2.72E+02	1
1962	3.37E+03	8.11E+02	1
1963	5.23E+03	1.93E+03	1
1964	5.70E+03	5.97E+02	1
1965	5.97E+03	3.92E+02	1
1966	6.01E+03	1.83E+02	1
1967	5.96E+03	8.07E+01	1
1968	5.92E+03	1.02E+02	1
1969	5.87E+03	7.95E+01	1
1970	5.84E+03	1.02E+02	1
1971	5.79E+03	8.41E+01	1
1972	5.70E+03	4.60E+01	1
1973	5.59E+03	1.46E+01	1
1974	5.52E+03	6.11E+01	1
1975	5.43E+03	3.73E+01	1
1976	5.32E+03	8.84E+00	1
1977	5.22E+03	2.82E+00	1
1978	5.14E+03	3.49E+01	1
1979	5.04E+03	1.87E+01	1
1980	4.93E+03	7.36E+00	1
1981	4.84E+03	2.41E+01	1
1982	4.74E+03	4.81E+00	1
1983	4.63E+03	2.15E+00	1
1984	4.53E+03	1.22E+00	1
1985	4.43E+03	6.66E-01	1
1986	4.46E+03	1.35E+02	1
1987	4.36E+03	9.62E-01	1
1988	4.26E+03	5.55E-01	1
1989	4.16E+03	4.74E-01	1
1990	4.07E+03	2.70E-01	1
1991	3.98E+03	3.57E-01	1
1992	3.89E+03	3.20E-01	1
1993	3.80E+03	3.46E-01	1
1994	3.71E+03	3.43E-01	1
1995	3.63E+03	1.81E-01	1
1996	3.55E+03	2.18E-01	1
1997	3.47E+03	2.69E-01	1

年	半減期を補正した積算降下量	年間降下量	文献番号
1998	3.39E+03	1.41E-01	2
1999	3.31E+03	2.34E-01	2
2000	3.24E+03	2.55E-01	2
2001	3.16E+03	1.92E-01	2
2002	3.09E+03	2.58E-01	2
2003	3.02E+03	1.35E-01	2
2004	2.95E+03	2.33E-01	2
2005	2.89E+03	1.14E-01	2
2006	2.82E+03	2.50E-01	2
2007	2.76E+03	1.79E-01	2
2008	2.69E+03	1.04E-01	2
2009	2.63E+03	8.17E-02	2
2010	2.57E+03	7.34E-02	3
2011	2.80E+04	2.55E+04	3
2012	2.77E+04	2.60E+02	2
2013	2.72E+04	1.26E+02	2
2014	2.66E+04	5.99E+01	2
2015	2.60E+04	3.93E+01	2
2016	2.55E+04	3.71E+01	2

表中文献：1—M. Aoyama: Geochemical studies on behaviour of anthropogenic radionuclides in the atmosphere, Kanazawa, Japan, 金沢大学博士論文(1999); 2—環境放射線データベース: <http://search.kankyo-hoshano.go.jp/servlet/search.top?pageSID=93755933>; 3—気象研究所「環境における人工放射能の研究 2015」(2016), [http://www.mri-jma.go.jp/Dep/ap/ap4lab/percent/ge\\_report/2015Artifi\\_Radio\\_report/index.html](http://www.mri-jma.go.jp/Dep/ap/ap4lab/percent/ge_report/2015Artifi_Radio_report/index.html)

表 2—すべての国による各年の核実験回数と核爆発の総量  
論文<sup>2</sup>から改変。

United Nations, “ANNEX C”, in *Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 2000 Report to the General Assembly, with scientific Annexes*, I, United Nations publication, Austria, 2000, 158–291 (2000) の Table 4 をもとに作成。

年	核実験回数	核爆発総量(Mt)
1945	3 <sup>a</sup>	0.057
1946	2	0.042
1947	0	0
1948	3	0.1
1949	1	0.022
1950	0	0
1951	18	0.59
1952	11	11
1953	18	0.71
1954	16	48.3
1955	20	2.06
1956	32	22.9
1957	46	9.64
1958	91	56.8
1959	0	0
1960	3	0.072
1961	59	86.5
1962	118	170.4
1963	0	0
1964	1	0.02

年	核実験回数	核爆発総量(Mt)
1965	1	0.04
1966	8	1.14
1967	5	3.18
1968	6	7.6
1969	1	3
1970	9	5.78
1971	6	1.46
1972	5	0.13
1973	6	2.52
1974	8	1.21
1975	0	0
1976	3	4.12
1977	1	0.02
1978	2	0.04
1979	0	0
1980	1	0.6
合計	543 <sup>b</sup>	440

a 広島・長崎の2回の投下を含む。

b 合計には39回の安全性実験を含む(米国22回, 英国12回, 仏国5回)

図1(論文<sup>2</sup>掲載図を改変)である。また<sup>137</sup>Csの半減期を考慮し、降下した場所から<sup>137</sup>Csは水平方向には移動しないと仮定して半減期を補正した積算降下量も表1と図1に示している。

図1から明らかなことは、(1)1962年までに1回あたり最大で100 Mt(メガトン)近い大規模核実験を含む核実験を行ったことにより、地表に蓄積した<sup>137</sup>Csの積算降下量(図1実線:半減期を補正した積算降下量)は急激に増加し、1960年代半ばで7000

Bq m<sup>-2</sup>に達していたこと、(2)中国が行った1964年から1980年の核実験は、年間降下量でみると時にはピークとなるが、積算降下量(地上の蓄積量)にはほとんど寄与していないこと、(3)チェルノブイル原発事故時の日本への影響は年間降下量でみると中国核実験の降下量よりは多いが、やはり積算降下量(地上の蓄積量)にはほとんど寄与しておらず限定的であったこと、(4)福島第一原発事故によるつくば市での降下量は過去の旧ソ連、米国および中国の核実験による降下量より1桁多かったこと、(5)福島原発事故後数年間のつくば市での降下量の変動傾向が最近では緩やかにしか減少していないこと、などが見て取れる。また大規模核実験による降下量の増加は一般的には成層圏を経由するので実験の翌年の春に観測されるケースが多いことも過去の研究で明らかになっている<sup>3-5</sup>。図1では、例えば1962年の複数回の大規模核実験による降下量の極大は1963年に、1980年の核実験では翌年の1981年に極大を示している。また表2で明らかなように、核実験全部での核爆発総量が440 Mtであったのに対し、1964年以降の核実験による核爆発総量はその7%の約31 Mtであったことと上記の(2)は整合している。

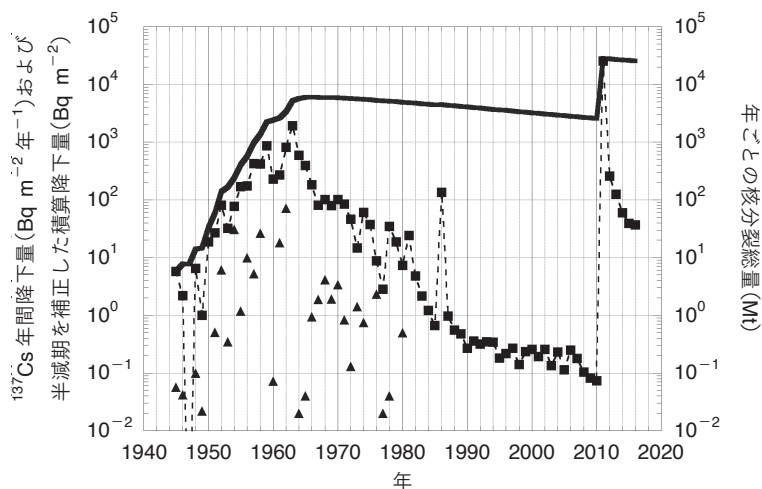


図1—<sup>137</sup>Cs年間降下量(■)(単位: Bq m<sup>-2</sup>年<sup>-1</sup>)および半減期を補正した積算降下量(実線)(単位: Bq m<sup>-2</sup>)および年ごとの核分裂総量(▲)(単位: Mt)  
論文<sup>2</sup>から改変。

## $^{90}\text{Sr}$ および $^{137}\text{Cs}$ の月間降下量の全記録: 1957年4月から2017年3月の720カ月

この60年間の環境中の人工放射能の水準についてさらに細部を見るために  $^{137}\text{Cs}$  と  $^{90}\text{Sr}$  月間降下量(つくば市(茨城県)1980年4月から/高円寺(東京都杉並区)1980年3月まで)を鍵として整理する。これは環境科学、地球科学分野の専門家だけでなく、日本社会に暮らすすべての人々にとって我々の環境がどのような状態であったか、そして現在どのような状態になっているかを知る方法として最適の方法の一つであろう。

図2Aに  $^{137}\text{Cs}$  月間降下量(つくば市(茨城県)/高円寺(東京都杉並区))、図2Bに  $^{90}\text{Sr}$  月間降下量(つくば市(茨城県)/高円寺(東京都杉並区))を示す。1945年から1962年までに主に旧ソ連邦と米国によって行われた大気圏核実験(表2)により、 $^{137}\text{Cs}$  と  $^{90}\text{Sr}$  月間降下量は数  $\text{Bq m}^{-2}$  から数百  $\text{Bq m}^{-2}$  の範囲にあり、降下量は多い状態が続いていたことが読み取れる。1962年の大規模核実験の翌年1963年6月に福島事故以前では  $^{137}\text{Cs}$  月間降下量として極大であった  $550 \text{ Bq m}^{-2}$  を記録し、大気圏核実験の停止に伴って見かけの半減時間約1.4年で減少を開始していた。

しかし、中国は大気圏核実験の禁止条約に参加せず、1964年に第1回大気圏核実験を行ったのを皮切りに、1980年10月の第26回核実験まで16年間にわたり核実験を行った(表2)。これらの中国核実験により月間降下量は  $0.1 \text{ Bq m}^{-2}$  から  $100 \text{ Bq m}^{-2}$  の範囲にあった。図2Aに見ることが出来る複数の月間降下量のピークは、基本的には中国が水爆実験を行った時の翌年のピークである。本稿その2(次号掲載予定)で、月間降下量でなく、毎日の降水中の全ベータ放射能の記録を提示し議論するが、上述の月間降下量の変動と異なり、核実験直後の数日から2~3週間の時間スケールで短寿命の核分裂生成物を含むプルームが中国から日本に到達した場合には、相対的に放射能濃度が高い降水を観測していた。

1980年10月の第26回中国核実験を最後に大気圏核実験は行われなくなり、1986年のチェルノブイル事故で放出された放射能が日本に到達する<sup>6,7</sup>まで  $^{137}\text{Cs}$  月間降下量は季節変化をしながら減少を続けていた(図2A)。1985年の時点では月間降下量が  $0.01 \text{ Bq m}^{-2}$  以下になっていた月もあった。チェルノブイル事故で放出された放射能の日本への輸送は対流圏内輸送が主であったので、チェルノブイル事故で放出された放射能の影響は速やかに減少し<sup>6,8</sup>、翌年の春に成層圏起源の小さなピークを認めたが<sup>9</sup>、減少傾向は継続していた。しかし、その後1990年代と2000年代の月間降下量は減少しなくなり、中国大陆での環境変化にともなう再飛散の影響であることがIgarashiらにより議論された<sup>10,11</sup>。

福島第一原発事故により放出された放射能のつくば市での  $^{137}\text{Cs}$  月間降下量はこの720カ月の中で歴代1, 2, 4位である。また図1および図2Aでも明瞭に見て取れるが、最近では福島第一原発からの  $^{137}\text{Cs}$  放出量は数桁以上小さくなっているはずであるにもかかわらず、つくば市での  $^{137}\text{Cs}$  月間降下量の減少速度が遅いことが特徴として見て取れる<sup>12</sup>。またこの2~3年は減少速度が低下してきており、2016年の時点でも1970年代と同程度の  $1 \text{ Bq m}^{-2}$  から  $10 \text{ Bq m}^{-2}$  の月間降下量が継続して観測されている。これは、福島県福島市でも大気中  $^{137}\text{Cs}$  放射能濃度が下がらないこと、降下量も依然として相対的に高いレベルにあることと整合している(Watanabe unpublished data)。Kajinoらは森林の生態系がこの再飛散に関係しているとの議論を行っており<sup>13</sup>、今後の研究の展開が期待される。これは福島第一原発事故により放出された放射性セシウムが、日本の陸上に降下した場所が主に森林地帯であったこととも関連していると推察される。

図2Bに  $^{90}\text{Sr}$  月間降下量(つくば市(茨城県)/高円寺(東京都杉並区))を示す。基本的には、 $^{90}\text{Sr}$  と  $^{137}\text{Cs}$  は共に核分裂生成物であり、その放射能比はおおよそ1.5~2.0の範囲にあるので、大気圏核実験のように核分裂生成物がすべて環境中に出る場合に



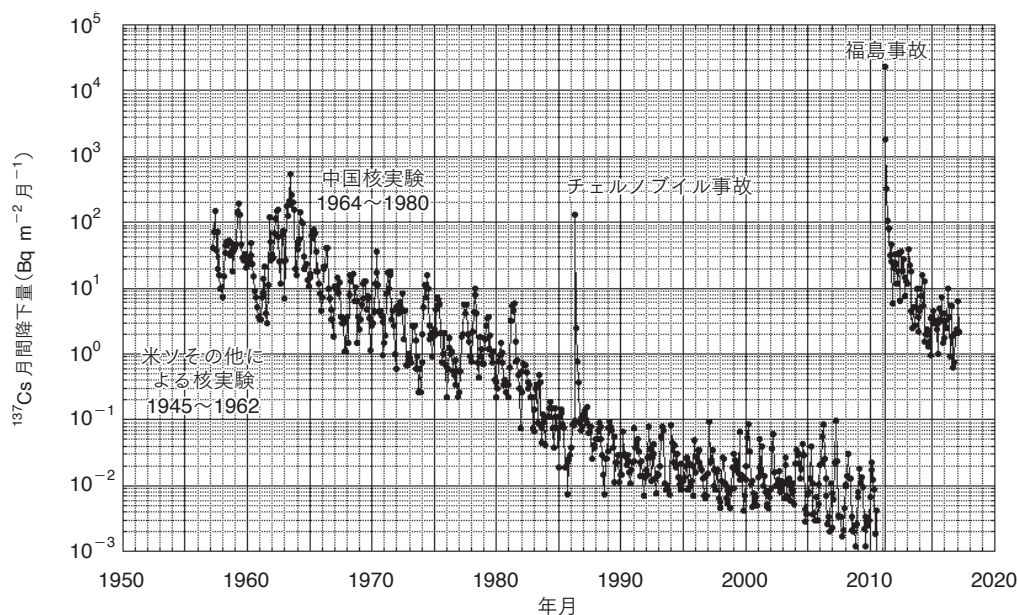


図 2A— $^{137}\text{Cs}$  月間降下量の経時変化 (1957 年 4 月～2017 年 3 月)

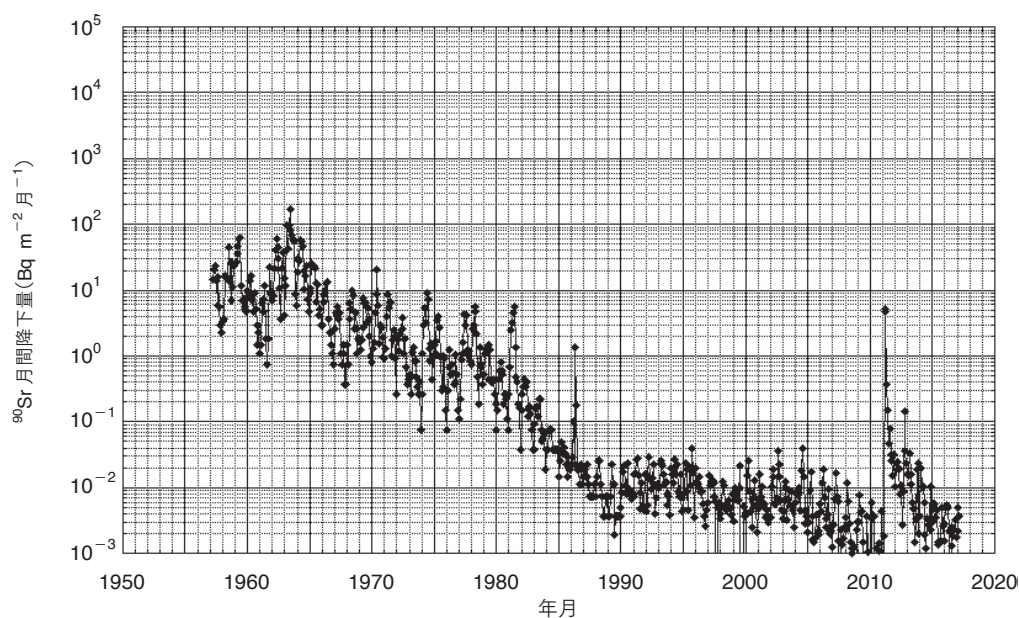


図 2B— $^{90}\text{Sr}$  月間降下量の経時変化 (1957 年 4 月～2017 年 3 月)

は両核種の降下量はほぼ同じような様相を示す (厳密には生成の途中のプロセスが異なっているので高度による分別が起ることが知られている)。したがって 1986 年チェルノブイル原発事故までの  $^{90}\text{Sr}$  月間降下物の様相は図 2A と図 2B で明らかなように  $^{137}\text{Cs}$  月間降下物の様相と同じである。原子力施設の事故の場合は、原子炉内にあった核分裂生成物が炉

の外に出てくる場合に、 $^{90}\text{Sr}$  と  $^{137}\text{Cs}$  は共に核分裂生成物であるがそれぞれの元素の物理化学的性質の違いにより、揮発性の  $^{137}\text{Cs}$  は炉の外に出やすいが、 $^{90}\text{Sr}$  は揮発性ではないので炉の外には出にくくなる。結果として、チェルノブイル原発事故の場合、 $^{90}\text{Sr}$  は  $^{137}\text{Cs}$  より 3 桁少なく、福島第一原発事故の場合は  $^{90}\text{Sr}$  は  $^{137}\text{Cs}$  よりほぼ 4 桁少

なかった。

## <sup>137</sup>Cs の月間降下量の歴代上位 150 位までの時期とその起源

表3に<sup>137</sup>Cs月間降下量の1～150位までを示す。表に明らかなように2011年3月に23.1 kBq m<sup>-2</sup>、同年4月に1.78 kBq m<sup>-2</sup>を観測しており2011年東電福島原発事故に由来する降下量が歴代第1位と2位を占める。福島原発事故サイト近傍で降下量総量は1 MBq m<sup>-2</sup>に達しているので、それに比べるとつくば市での降下量総量はおよそ25 kBq m<sup>-2</sup>であるので降下量としては2桁低い。しかし、歴代の降下量の中で1962年の核実験に由来する月間降下量として極大であった1963年6月の550 Bq m<sup>-2</sup>と比べると、福島原発事故後につくば市で観測した月間降下量最大値はそのほぼ42倍である。なお、4位である2011年5月に観測された月間降下量330 Bq m<sup>-2</sup>は1963年6月の月間降下量よりやや少ないが同じレベルである。

5位から18位までは1957～1963年の大規模大気圏核実験に起源をもち、成層圏-対流圏交換が活発になる春期に成層圏から<sup>137</sup>Cs放射能濃度が高い空気塊が流入し、結果として降下量が増大するので相対的に大きい月間降下量の観測値が並んでいる。それらに続いて、19番目にチェルノブイル事故による1986年5月の月間降下量の131 Bq m<sup>-2</sup>がある。131 Bq m<sup>-2</sup>という降下量は18位と同じであるが、<sup>90</sup>Sr月間降下量は核実験起源であるかチェルノブイル原発事故起源であるかの違いを反映して、核実験起源の18位は62 Bq m<sup>-2</sup>であるのに対し、チェルノブイル原発事故起源の場合は1 Bq m<sup>-2</sup>である。この後は、59位までは大規模核実験および福島原発事故に起源をもつ降下量が並ぶ。その後は、1968～1978年にかけての中国が行った第6、8、10、15、21回の大気圏核実験起源の降下量が60～150位に登場し、月間降下量として36 Bq m<sup>-2</sup>から9 Bq m<sup>-2</sup>の範囲で並んでいる。

表3—気象研究所による<sup>137</sup>Cs月間降下量1～150位まで(1957年4月～2016年3月)

順位	年	月	<sup>137</sup> Cs Bq m <sup>-2</sup>	<sup>90</sup> Sr 月 <sup>-1</sup>	発生源
1	2011	3	23100	5	2011年東電福島原発事故
2	2011	4	1780	5	2011年東電福島原発事故
3	1963	6	548	170	大気圏核実験(米ソ)
4	2011	5	330	0	2011年東電福島原発事故
5	1963	8	262	70	大気圏核実験(米ソ)
6	1963	5	206	98	大気圏核実験(米ソ)
7	1963	9	197	61	大気圏核実験(米ソ)
8	1959	5	193	61	大気圏核実験(米ソ)
9	1963	7	189	83	大気圏核実験(米ソ)
10	1963	3	179	95	大気圏核実験(米ソ)
11	1963	10	158	54	大気圏核実験(米ソ)
12	1962	6	155	45	大気圏核実験(米ソ)
13	1957	6	148	24	大気圏核実験(米ソ)
14	1962	5	147	60	大気圏核実験(米ソ)
15	1959	4	144	47	大気圏核実験(米ソ)
16	1964	4	143	58	大気圏核実験(米ソ)
17	1959	3	135	36	大気圏核実験(米ソ)
18	1959	6	131	62	大気圏核実験(米ソ)
19	1986	5	131	1	チェルノブイル事故
20	1963	4	127	43	大気圏核実験(米ソ)
21	1961	10	119	22	大気圏核実験(米ソ)
22	1962	4	117	40	大気圏核実験(米ソ)
23	2011	6	104	0	2011年東電福島原発事故
24	1964	5	100	56	大気圏核実験(米ソ)
25	1964	6	95	46	大気圏核実験(米ソ)
26	2011	7	82	0	2011年東電福島原発事故
27	1965	5	78	24	大気圏核実験(米ソ)
28	1962	11	75	37	大気圏核実験(米ソ)
29	1957	5	73	21	大気圏核実験(米ソ)
30	1957	9	72	16	大気圏核実験(米ソ)
31	1962	3	70	21	大気圏核実験(米ソ)
32	1965	6	67	22	大気圏核実験(米ソ)
33	1962	10	64	21	大気圏核実験(米ソ)
34	1965	3	62	25	大気圏核実験(米ソ)
35	1962	7	59	30	大気圏核実験(米ソ)
36	1965	4	57	24	大気圏核実験(米ソ)
37	1964	3	56	28	大気圏核実験(米ソ)
38	1958	7	54	45	大気圏核実験(米ソ)
39	1961	11	51	9	大気圏核実験(米ソ)
40	1958	5	50	15	大気圏核実験(米ソ)
41	1960	4	49	16	大気圏核実験(米ソ)
42	1958	10	48	27	大気圏核実験(米ソ)
43	1959	2	47	26	大気圏核実験(米ソ)
44	1958	6	47	15	大気圏核実験(米ソ)
45	2011	9	46	0	2011年東電福島原発事故
46	1959	7	46	11	大気圏核実験(米ソ)
47	1964	1	46	30	大気圏核実験(米ソ)
48	1958	3	44	16	大気圏核実験(米ソ)
49	1966	5	41	13	大気圏核実験(米ソ)
50	1957	4	41	15	大気圏核実験(米ソ)
51	1966	6	41	13	大気圏核実験(米ソ)
52	1959	1	40	26	大気圏核実験(米ソ)
53	1964	2	39	19	大気圏核実験(米ソ)

順位	年	月	$^{137}\text{Cs}$ $\text{Bq m}^{-2}$	$^{90}\text{Sr}$ $\text{月}^{-1}$	発生源
54	2013	2	39	0	大気圏核実験(米ソ)
55	1957	7	38	14	大気圏核実験(米ソ)
56	1958	12	37	23	大気圏核実験(米ソ)
57	1958	9	37	7	大気圏核実験(米ソ)
58	2012	7	36	0	2011 年東電福島原発事故
59	1965	8	36	13	大気圏核実験(米ソ)
60	1970	6	36	20	中国第 8 & 10 回核実験
61	2012	5	35	0	2011 年東電福島原発事故
62	2012	4	35	0	2011 年東電福島原発事故
63	1958	4	34	16	大気圏核実験(米ソ)
64	2012	1	33	0	2011 年東電福島原発事故
65	1962	1	33	7	大気圏核実験(米ソ)
66	1959	10	33	6	大気圏核実験(米ソ)
67	2011	8	32	0	2011 年東電福島原発事故
68	1958	8	31	13	大気圏核実験(米ソ)
69	1960	5	31	7	大気圏核実験(米ソ)
70	1960	2	30	8	大気圏核実験(米ソ)
71	1964	7	30	20	大気圏核実験(米ソ)
72	1962	2	29	8	大気圏核実験(米ソ)
73	1959	8	28	7	大気圏核実験(米ソ)
74	1959	11	28	5	大気圏核実験(米ソ)
75	2012	9	28	0	2011 年東電福島原発事故
76	1959	9	27	7	大気圏核実験(米ソ)
77	1960	3	27	14	大気圏核実験(米ソ)
78	1961	12	26	9	大気圏核実験(米ソ)
79	1963	2	26	11	大気圏核実験(米ソ)
80	1962	8	26	11	大気圏核実験(米ソ)
81	2011	10	26	0	2011 年東電福島原発事故
82	1962	12	26	15	大気圏核実験(米ソ)
83	1960	6	24	7	大気圏核実験(米ソ)
84	1964	10	23	23	大気圏核実験(米ソ)
85	2012	2	23	0	2011 年東電福島原発事故
86	1960	1	22	10	大気圏核実験(米ソ)
87	2013	3	22	0	大気圏核実験(米ソ)
88	1966	3	22	9	大気圏核実験(米ソ)
89	1966	4	22	10	大気圏核実験(米ソ)
90	1961	6	21	11	大気圏核実験(米ソ)
91	1964	9	21	17	大気圏核実験(米ソ)
92	1959	12	20	5	大気圏核実験(米ソ)
93	2011	12	20	0	2011 年東電福島原発事故
94	1966	2	20	7	大気圏核実験(米ソ)
95	1963	11	20	9	大気圏核実験(米ソ)
96	1964	8	20	10	大気圏核実験(米ソ)
97	1957	8	19	6	大気圏核実験(米ソ)
98	1965	7	18	7	大気圏核実験(米ソ)
99	2012	8	18	0	2011 年東電福島原発事故
100	2013	4	18	0	2011 年東電福島原発事故
101	1958	11	18	11	大気圏核実験(米ソ)
102	1965	9	18	12	大気圏核実験(米ソ)
103	1971	6	18	6	中国第 8 & 10 回核実験
104	1970	5	17	9	中国第 8 & 10 回核実験
105	1971	4	17	9	中国第 8 & 10 回核実験
106	1965	2	17	11	大気圏核実験(米ソ)
107	1968	7	16	8	中国第 6 回核実験
108	1971	7	16	7	中国第 8 & 10 回核実験

順位	年	月	$^{137}\text{Cs}$ $\text{Bq m}^{-2}$	$^{90}\text{Sr}$ $\text{月}^{-1}$	発生源
109	1957	10	16	6	大気圏核実験(米ソ)
110	1968	4	16	6	中国第 6 回核実験
111	1968	6	16	10	中国第 6 回核実験
112	2014	3	16	0	2011 年東電福島原発事故
113	1974	6	16	9	中国第 15 回核実験
114	1963	12	16	6	大気圏核実験(米ソ)
115	1958	2	15	4	大気圏核実験(米ソ)
116	1960	7	15	5	大気圏核実験(米ソ)
117	1965	1	14	9	大気圏核実験(米ソ)
118	1967	3	14	4	大気圏核実験(米ソ)
119	2012	11	14	0	2011 年東電福島原発事故
120	1961	4	14	7	大気圏核実験(米ソ)
121	1964	11	13	7	大気圏核実験(米ソ)
122	2014	5	13	0	2011 年東電福島原発事故
123	2012	12	13	0	2011 年東電福島原発事故
124	1969	7	13	6	中国第 6 回核実験
125	1968	5	13	5	中国第 6 回核実験
126	1969	6	13	6	中国第 6 回核実験
127	1967	6	12	4	大気圏核実験(米ソ)
128	1969	5	12	8	中国第 6 回核実験
129	1965	10	12	4	大気圏核実験(米ソ)
130	1970	4	12	5	中国第 8 & 10 回核実験
131	2012	3	12	0	2011 年東電福島原発事故
132	2013	1	12	0	2011 年東電福島原発事故
133	1962	9	11	4	大気圏核実験(米ソ)
134	1970	7	11	6	中国第 8 & 10 回核実験
135	1961	9	11	2	大気圏核実験(米ソ)
136	1974	4	11	5	中国第 15 回核実験
137	1964	12	11	5	大気圏核実験(米ソ)
138	1967	1	11	3	大気圏核実験(米ソ)
139	1957	12	10	2	大気圏核実験(米ソ)
140	1967	4	10	6	大気圏核実験(米ソ)
141	1968	9	10	4	中国第 6 回核実験
142	2013	10	10	0	2011 年東電福島原発事故
143	1957	11	10	3	大気圏核実験(米ソ)
144	1966	7	10	4	大気圏核実験(米ソ)
145	1971	5	10	5	中国第 8 & 10 回核実験
146	1974	7	10	7	中国第 15 回核実験
147	2016	4	10	0	2011 年東電福島原発事故
148	1978	4	10	6	中国第 21 回核実験
149	1967	2	9	4	大気圏核実験(米ソ)
150	1960	8	9	9	大気圏核実験(米ソ)

## $^{137}\text{Cs}$ の降下物による被ばく線量 (1945~2016 年)

大気圏核実験や福島原発事故により大気中に放出され、地表に降下した  $^{137}\text{Cs}$  の半減期を補正した積算降下量を用いて、地表高さ 1 m の空気カーマ率が計算できる。この計算の換算計数は、Satoh ら<sup>14)</sup>による  $1.73\text{E}-6 \text{ mGy h}^{-1} \text{ per kBq m}^{-2}$  を用い、降下初期に起きる土中の  $^{137}\text{Cs}$  鉛直分布



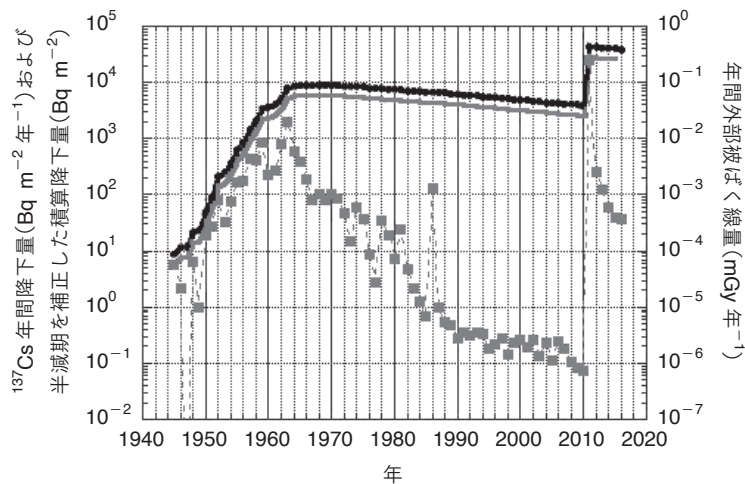


図3— $^{137}\text{Cs}$ の降下物による空気カーマ率(年間外部被ばく線量, 1945~2016年, 黒実線)

を仮定している。その結果を図3に示す。(空気カーマと空気吸収線量の相違は、制動放射によって系外へ逸脱する分を考慮するか、考慮しないかによる。ガンマ線のエネルギーが300 keV以下では両者は等しいが、エネルギーが高くなるにつれて制動放射で逃れる確率が高くなり、差が生じる。ただし、10 MeVまでのエネルギー範囲では両者の差は小さく、環境放射線モニタリングでは空気カーマと空気吸収線量は等しいとみなされることが多い。) この計算値は直接外部被ばく線量を表わすものではないが、外部被ばく線量の相対的な変遷の議論は可能である。(図3縦軸では年間外部被ばく線量としてある。年齢により30~40%程度変動する。) 図3で明らかなことは、つくば市においては核実験による降下物からの外部被ばくよりも、福島原発事故により降下した $^{137}\text{Cs}$ による被ばくのほうが半桁程度大きいということである。

その2(次号掲載予定)においては、核実験直後の降水に含まれる短寿命の核分裂生成物による降水中全ベータ放射能の増加の記録と空間線量率の増加の様相や、千葉県における月間外部被ばく線量の1961年9月から1974年12月までの測定記録を福島事故前後の空間線量率と比較することによって、日本人の外部被ばくの様相を概観する予定である。

#### 文献

1—M. Aoyama: Geochemical studies on behaviour of anthropo-

genic radionuclides in the atmosphere. 金沢大学博士論文(1999)

2—M. Aoyama: Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, **318**(3), 1519-1542(2018)

3—K. Hirose et al.: Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II, **65**(2), 259-277(1987)

4—Y. Katsuragi: Papers in Meteorology and Geophysics, **33**(4), 277-305(1983)

5—Y. Miyake et al.: Papers in Meteorology and Geophysics, **14**(1), 58-65(1963)

6—M. Aoyama et al.: J. Radioanal. Nucl. Chem., **116**(2), 291-306(1987)

7—M. Aoyama et al.: Nature, **321**, 819-820(1986)

8—M. Aoyama: Geophys. Res. Lett., **15**(4), 327-330(1988)

9—M. Aoyama et al.: J. Environ. Radioact., **13**(2), 103-115(1991)

10—Y. Igarashi et al.: Atmos. Environ., **43**(18), 2971-2980(2009)

11—Y. Igarashi et al.: J. Radiat. Res., **44**, 319-328(2003)

12—Y. Igarashi et al.: Progress in Earth and Planetary Science, **2**(1), 1-19(2015)

13—M. Kajino et al.: Atmospheric Chemistry and Physics, **16**(20), 13149-13172(2016)

14—D. Satoh et al.: Calculation of dose conversion coefficients for external exposure to radioactive cesium distributed in soil. Japan Atomic Energy Agency(2014)